

PB10)

다변량선형회귀분석을 이용한 광소멸 산정식의 결정

Determination of Light Extinction Budget Equation Using Multivariate Linear Regression Analysis

김 경 원 · 김 영 준¹⁾

경주대학교 환경계획학전공,

¹⁾광주과학기술원 환경공학과 환경모니터링신기술 연구센터

1. 서 론

광학기술을 이용한 시정변화 진단 및 예측기술은 정확성과 재현성을 확보할 수 있는 광소멸 산정식(light extinction budget equation)을 결정하는 연구에 의하여 좌우된다. 광소멸 산정식은 측정 및 분석된 에어로졸의 광학적 및 화학적 특성을 토대로 시정장애를 유발시키는 대기오염물질의 화학조성별 광감쇄효과로부터 결정된다. 측정값으로부터 경험식을 산출하는 방법에는 회귀분석이 있다. 회귀분석은 대상이 되는 두 관측변수를 관측치(measurements)로 간주하고 그것으로 이루어진 산포도(scattering plot) 위에 가장 공평한 회귀선(regression line)을 결정하는 분석법이다. 통상적으로 회귀선은 독립변수와 종속변수 간의 선형함수관계를 상징하는데, 현실적 함수관계에 대하여 근사치로 사용할 수 있으며, 대부분 비선형관계도 쉽게 선형관계로 전환가능하다. 한 변수와 여러 변수간의 선형관계식을 다변량선형모형(multivariate linear model)이라 하며 그에 대한 통계적 분석체계를 다변량회귀분석(multi variable regression analysis)이라 한다. 각각의 회귀계수는 단순선형모형에서와는 달리 편회계수라고 하고 종속변수에 대한 해당 독립변수만의 영향력으로 표시된다. 실제값과 추정치의 차이인 오차항은 회귀의 표준오차(standard error of regression)를 산출하는 데에 사용된다. 본 연구에서는 시정변화에 대한 광소멸 산정식의 결정을 위하여 다변량선형회귀분석이 수행되었다.

2. 연구 방법

다변량선형회귀분석에 요구되는 요소별 측정값은 도시지역인 서울과 국립공원 지역인 경주에서 계절별로 각각 수행되었다. 도시지역의 집중관측은 연세대학교에 위치한 시정관측소에서 수행되었으며, 국립공원지역의 집중관측은 경주국립공원 서악지구에 위치한 경주대학교의 에어로졸관측소에서 수행되었다. 집중관측 기간 동안 URG사 VAPS 2000J 샘플러와 PM_{1.0}, PM_{2.5} 및 PM₁₀ 사이클론을 이용하여 각각 초미세입자(D_p < 1.0 μ m), 미세입자(D_p < 2.5 μ m), 조대입자(2.5 < D_p < 10 μ m) 및 PM₁₀ 입자(D_p < 10 μ m)가 각각 채집되었다. 국립공원지역의 집중관측 기간 동안 대기 중 에어로졸은 24 시간 간격으로 필터에 채집되었으며, 도시지역의 집중관측 기간 동안에는 2시간(오전 8시~오후 6시) 및 14시간(오후 6시~오전 8시) 간격의 준실시간(semi-continuous) 간격으로 필터에 채집되었다. 채집된 에어로졸은 PIXE (proton induced X-ray emission) 분석법, 이온크로마토그래피법 및 TOT(thermal optical transmittance) 분석법을 이용하여 원소분석, 이온분석 및 탄소분석이 각각 수행되었다. 광소멸 산정식은 측정 및 분석된 에어로졸의 광학적 및 화학적 특성을 토대로 시정장애를 유발시키는 대기오염물질의 단위 질량당 광감쇄효율(light attenuation efficiency) 및 흡윤 입자의 물리적 성장에 의한 광산란효율(light scattering efficiency)의 변화에 관한 함수로 구성되었다. 광소멸 산정식은 시정장애를 유발시키는 대기오염물질을 황산암모늄, 질산암모늄, 유기물, 원소탄소, 미세토양입자, 조대입자, 해염, 이산화질소 등으로 분류되어 각 화합물에 의한 빛의 산란 및 흡수 효율이 고려되었다. 본 연구에서는 기준에 사용되던 주요 7가지의 광소멸 산정식이 보다 확장된 구체적인 함수로 도출되기 위하여 12가지의 요소들에 대하여 다변량선형회귀분석이 수행되었다. 전체 시정 집중관측 기간 동안 총 준실시간 측정세트는 233사례로서 이 중 오류 요소가 발생된 세트를 제외한 221사례가 경험적 광소멸 산정식을 결정하기 위하여 다변량선형회귀분석의 측정값으로 사용되었다. 본 연구에서 수행된 다변량선형회귀분석은 12개의 변수 중 선형성이 우선

적으로 고려되었으며, 비선형 함수인 상대습도 변화에 따른 입자의 산란효율의 변화에 관계된 함수는 상수화되고 모든 변수가 선형의 성질을 나타내는 함수로 가정되어 회귀분석이 수행되었다. 다변량선형 회귀분석을 통해 결정계수(determination coefficient: r^2)와 표준오차(standard error: SE) 및 자유도 (degree of freedom: df)가 계산되었으며, 회귀분석의 신뢰도 95% 수준($\alpha=0.05$)에서 계산된 각 계수의 적정성이 F-검정(F-test)와 T-검정(T-test)을 통하여 추정되었다.

3. 결과 및 고찰

결정계수는 0.782으로 계산되었으며, NH_4SO_4 , NH_4NO_3 , OMC_s , EC_s , SS_s , SD , NH_4SO_f , NH_4NO_f , OMC_f , EC_f , SS_f , FS , NH_4SO_c , NH_4NO_c , OMC_c , EC_c , SS_c , CD 의 계수는 각각 2.7, 3.1, 3.3, 10, 1.7, 1.1, 5.8, 5.3, 6.2, 10, 1.7, 1.0, 5.8, 5.1, 6.1, 10, 1.7, 0.9로 결정되었다. 두 집단 간의 산포도를 그림 1에 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 b_{\text{ext}} = & 2.7 \times f_s(\text{RH}) \times [\text{NH}_4\text{SO}_s] + 5.8 \times f_L(\text{RH}) \times 0.4 \times [\text{NH}_4\text{SO}_f] + 5.8 \times f_L(\text{RH}) \times [\text{NH}_4\text{SO}_c] \\
 & + 3.1 \times f_s(\text{RH}) \times [\text{NH}_4\text{NO}_s] + 5.3 \times f_L(\text{RH}) \times 0.4 \times [\text{NH}_4\text{NO}_f] + 5.1 \times f_L(\text{RH}) \times [\text{NH}_4\text{NO}_c] \\
 & + 3.3 \times f_o(\text{RH}) \times [\text{OMC}_s] + 6.2 \times f_o(\text{RH}) \times 0.4 \times [\text{OMC}_f] + 6.1 \times f_o(\text{RH}) \times [\text{OMC}_c] \\
 & + 10 \times \{ [\text{EC}_f] + [\text{EC}_c] \} \\
 & + 1.7 \times f_{\text{SS}}(\text{RH}) \times \{ [\text{SS}_s] + [\text{SS}_f] + [\text{SS}_c] \} \\
 & + 1.1 \times [\text{SD}] + 1.0 \times [\text{FS}] + 0.9 \times [\text{CD}] \\
 & + b_{\text{Ray}} + b_{\text{NO}_2}
 \end{aligned} \tag{1}$$

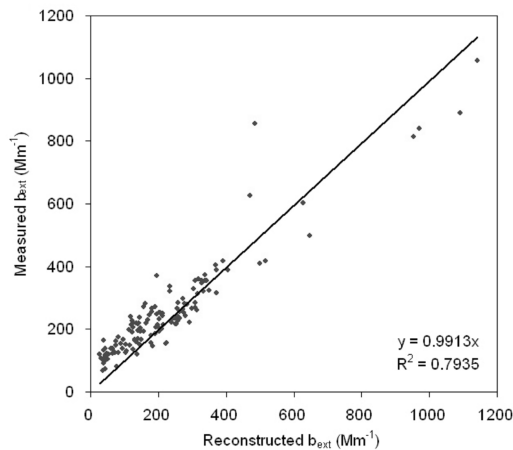


Fig. 1. Scatter plot between measured b_{ext} and reconstructed b_{ext} using light extinction budget equations suggested in this study.

사 사

본 연구는 환경부 “차세대 핵심환경기술개발사업”으로 지원받은 과제와(010020055) 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구이며(KRF-2007-313-D00419), 이에 감사드립니다.